

Title	膨張伸縮機能のついたナノアクチュエータの開発
Author(s)	衣斐, 友汰
Citation	平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書
Issue Date	2018-04
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/68120
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

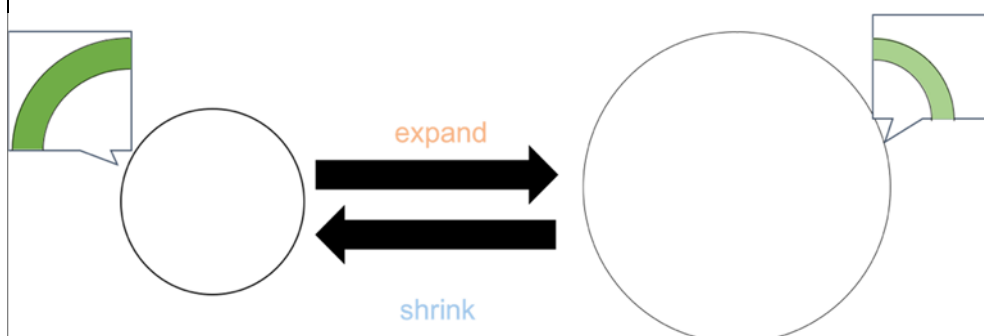
平成 29 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	え び ゆ う た 衣 斐 友 汰	学部 学科	基礎工学部シス テム科学科	学年	1 年
ふりがな 共 同 研究者氏名	やまもと じゅんや 山 本 純 也	学部 学科	基礎工学部シス テム科学科	学年	1 年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名	森島 圭祐	所属	工学研究科		
研究課題名	膨張伸縮機能のついたナノアクチュエータの開発				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				

1.研究目的

現在ナノの世界が注目されている。しかし、それらは静止的で、動きの少ないものばかりである。そこで我々は、膨らむ縮むといったようなナノレベルでの『動き』を導入し、マイクロロボットの発展に貢献をすることを研究の目的として考えた。その先駆けとして、昨年度4月からスタートした、基礎セミナー「生命と機械の融合を目指したものづくり」(担当教員:工学研究科・森島圭祐教授(アドバイザー教員))を受講した2名でチームを結成し、DNAを用いた革命的分子アクチュエータの創成に挑戦してみたいと思った。今回、10月にサンフランシスコで開催される国際生体分子ロボットコンテスト BIOMOD という国際大会に大阪大学代表として出場する。BIOMOD とは Harvard 大学の Wyss Institute 主催の国際生体分子コンペティションで、世界各国の学部・学生が生体分子に関する実験プロジェクトを立ち上げ、その内容を競う大会である。この国際大会に大阪大学の代表として出場し、自らの構想力を世界で試してみたいと思うと同時に、"HANDAI" の名を世界に広めたい。これが本研究のもう一つの目的である。

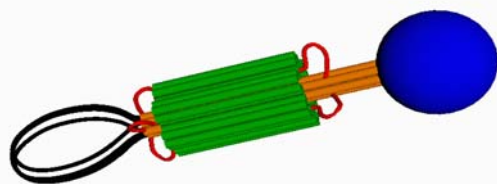
2.発想の経緯及びその動作原理



昨年度 BIOMOD に出場された先輩方は、電力→磁力→引力という力の発生様式を元に、ナノ領域における分子運動の制御について研究をされた。それを受け、

この考えを応用してさらに新しい動きを追加できないかと考えた。そして、私たちは膨らむ・縮むという運動に着目した。収縮・膨張というのは単純な運動ではあるが、マクロな領域においては既に重要な働きをしている。その例として、心臓は収縮膨張を繰り返す。また、車のエンジンのような駆動の核となるものに気体の膨張収縮が用いられている一方で、急速な膨張反応はエアバックのような命を守る役割を持つものにも使われている。このように単に膨らむ・縮むといった単純な運動でも様々なものに用いることができ、こうした動作機構の開発は、ナノ・マイクロの領域においても、様々な応用例を提案できるだろうと考えた。これが発想の経緯である。

この発想を元に考案したのが以下のような図の構造体である。



具体的な動作原理を説明する。

今回作成する構造体は全体として streptavidin-biotin によって inner-tube と outer-tube という二層の tube に loop 部分と magnet bead が繋がって成り立っており、全体像としてちょうど蛇取り器のような形をしている。これに磁場をかけると、magnet bead が引っ張られ、それによって loop 部分が連動して動き、対象物が loop と tube の間に挟まるように設計されている。膨張伸縮機能はこの運動によって擬似的に実現される。この構造体は、magnet bead 以外は DNA から構成されており DNA の相補性を用いることにより構築が可能である。

3.研究方法

構造体が意図したように動くことを最終目的として、以下のような計画を立てた。

ただし時間の関係から 4.までは行うことができなかった。

1.シミュレーションによる構造体の作成

2.構造体の最適環境の測定

3.magnet bead と構造体の接続

4.構造体の動きの認定

1. caDNAno と呼ばれるシミュレーションソフトを用いて、ナノ領域において構造体のどの部分が力を受けやすいかを考慮し、必要であれば修正を施す。

2. シミュレーションを元に考案した構造体は magnet 部分を除いて作成することができるのだが、壊れにくくするためにアニリングという構造体を熱する作業を施すのだが、この時の最適温度、時間、MgCl₂ の濃度を電気泳動によりどれだけうまく合成されたかの度合いによって求める。

3. magnet bead の接続を確認するために構造体のみ、magnet bead+構造体の二つに分けて電気泳動を行い、差が出れば接続を認めたこととする。

4. inner-tube とガラス板に biotin を施し、ここに avidin を投入することにより avidin-biotin 結合をさせ、ガラス板と構造体をくっつける。ここに磁場をかけることにより構造体が目的の動きをする。

その判定は、inner-tube と outer-tube に感光性物質を FRET 反応の有無により行う。

4.研究成果

4-1.シミュレーション

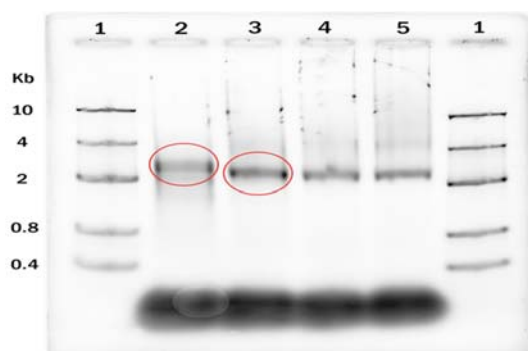
inner-tube 部分と outer-tube 部分を強固なものにするために、構造体を上から見たときに蜂の巣のような六角形となるようにした。

シミュレーションの結果、下の図のようになった。



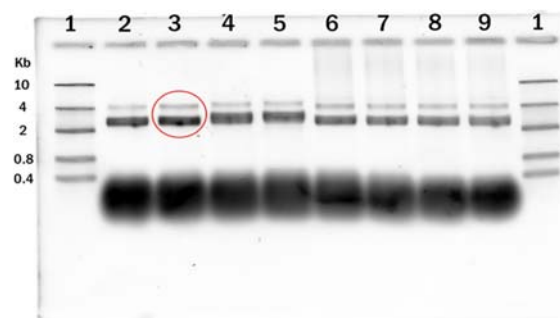
4-2.構造体の最適環境の測定

4-2-1.MgCl₂ の濃度



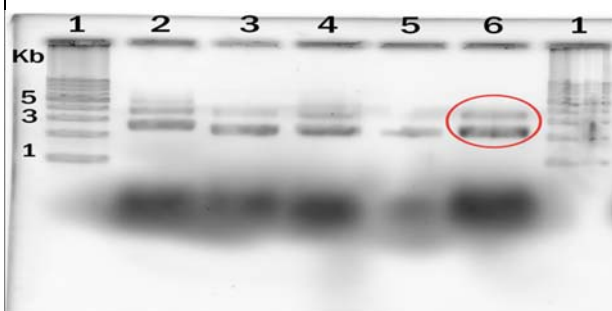
2 番からそれぞれ MgCl₂ の濃度は 5 μ M、10 μ M、15 μ M、20 μ M で電気泳動を行った。(1 番は DNAMarker と呼ばれる DNA の電気泳動の指標となるものである) この結果から 5 μ M または 10 μ M のどちらかが適しているということがわかった。

4-2-2.温度



2 番から 5 番は MgCl₂ が 10 μ M、6 番から 9 番は MgCl₂ が 20 μ M で温度は 2・6 番からそれぞれ 52、55、58、59℃である。(20 μ M は研究成果として 10 μ M の適正さが比較できるように導入した。)この結果から 55℃が適しているということがわかった。

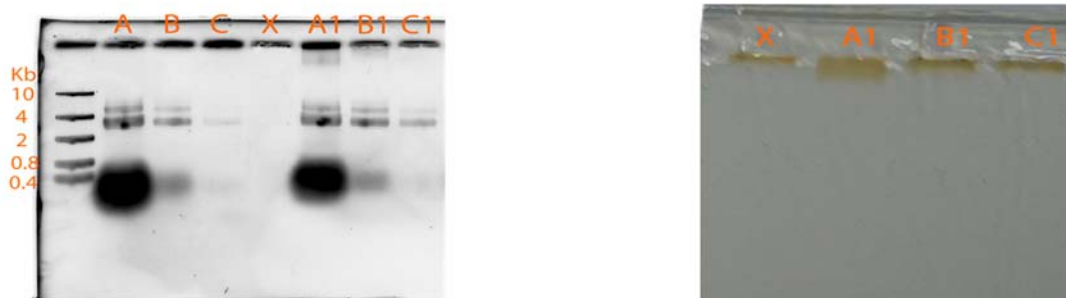
4-2-3.時間



2 番からそれぞれアニリングの時間を 0、2、4、8、12 時間で行った。

この結果から、4 時間以降ではあまり差が出ることがなく、12 時間が適しているということがわかった。

4-3.magnet bead と構造体の接続



A、B、C はそれぞれ構造体のみ、A1、B1、C1 は構造体+magnet bead を電気泳動したものである。magnet bead の移動が A1 で特に顕著に見られ、これにより構造体と magnet bead の接続が成功したと結論づけることができる。

5.実験結果

一連の実験結果より、我々は意図していたような構造体を作ることには成功したと言える。しかし、前述の通り、時間の関係から肝心の動作の認定の段階が到達できなかったというのは非常に残念であった。

6.大会結果

サンフランシスコで開催された BIOMOD 2017 に我々5人は参加をした。大会にはアメリカ、イギリス、オランダなど実に世界中の国から参加しており、自分たちのアイデアについてプレゼンテーションを行なった。二年目でありながら、受賞したのは銅賞であり、目標としていた金賞を受賞することができなかったことは、非常に悔しかった。プレゼンの練習不足、実験の進行の遅さなど反省点は多くあった。しかし、この大会に出場することによって、得た刺激、自分たちの今後の課題が浮き彫りになったこと、そして銅賞をとれたことをポジティブに考えて、今後に生かしていきたい。

参考文献

- [1] BIOMOD 2017 日本大会 分子ロボティクス, www.molecular-robotics.org/biomod2016jpn/
- [2] Jares-Erijman, Elizabeth A, and Thomas M Jovin. "FRET Imaging." *Nature Biotechnology*, vol. 21, no. 11, Nov. 2003, p. 1387. ProQuest, doi:10.1038/nbt896.
- [3] Rothemund, Paul W. K. "Folding DNA to Create Nanoscale Shapes and Patterns." *Nature*, vol. 440, no. 7082, 2006, pp. 297–302., doi:10.1038/nature04586.
- [4] Pan, Keyao, et al. "Structure and Conformational Dynamics of Scaffolded DNA Origami Nanoparticles." *Nucleic Acids Research*, vol. 45, no. 11, Aug. 2017, pp. 6284–6298., doi:10.1093/nar/gkx378.
- [5] Pan, Keyao, et al. "Lattice-Free Prediction of Three-Dimensional Structure of Programmed DNA Assemblies." *Nature Communications*, vol. 5, Mar. 2014, p. 5578., doi:10.1038/ncomms6578.
- [6] "Nanoman." *Biomod Hust-China*, biomod2016.gitlab.io/hust/.